

Research Article

## 무인기를 이용한 이탈리아 라이그라스의 파종계절별 식생지수 비교

양승학\*, 정종성, 최기춘  
국립축산과학원

# Comparative Analysis of Italian Ryegrass Vegetation Indices across Different Sowing Seasons Using Unmanned Aerial Vehicles

Yang Seung Hak\*, Jung Jeong Sung and Choi Ki Choon  
National Institute of Animal Science, RDA, Cheonan, 31000, Korea

### ABSTRACT

Due to the recent impact of global warming, heavy rainfall and droughts have been occurring regardless of the season, affecting the growth of Italian ryegrass (IRG), a winter forage crop. Particularly, delayed sowing due to frequent heavy rainfall or autumn droughts leads to poor growth and reduced winter survival rates. Therefore, techniques to improve yield through additional sowing in spring have been implemented. In this study, the growth of IRG sown in Spring and Autumn was compared and analyzed using vegetation indices during the months of April and May. Spectral data was collected using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) equipped with a hyperspectral sensor, and the following vegetation indices were utilized: Normalized Difference Vegetation Index; NDVI, Normalized Difference Red Edge Index; NDRE (I), Chlorophyll Index, Red Green Ratio Index; RGRI, Enhanced Vegetation Index; EVI and Carotenoid Reflectance Index 1; CRI1. Indices related to chlorophyll concentration exhibited similar trends. RGRI of IRG sown in autumn increased during the experimental period, while IRG sown in spring showed a decreasing trend. The results of RGRI in IRG indicated differences in optical characteristics by sowing seasons compared to the other vegetation indices. Our findings showed that the timing of sowing influences the optical growth characteristics of crops by the results of various vegetation indices presented in this study. Further research, including the development of optimal vegetation indices related to IRG growth, is necessary in the future.

(Key words: IRG, Vegetation index, Sowing seasons, UAV)

### I. 서론

고령화 및 노동인력 감소 등 지속적인 농업인구 특성변화로 농업전반의 구조개선이 요구되며, 특히 경영효율화를 위해서는 생산부문의 규모화와 자동화가 필요하다(Lee et al., 2016).

대외적으로는 조사료시장의 수입개방이 예고되어 생산기반 확충을 통한 자급률 제고가 필요하며, 민관의 지속적인 노력으로 재배면적의 확대와 생산량이 증가추세에 있다(KREI, 2014).

한편, 이상기상의 다발과 고착화에 의해 생산현장의 피해가 다수 발생됨에 따라 사료작물 생육관리의 중요성이 가중되고 있다. 대표적 월동 사료작물인 이탈리아 라이그라스는 주로 가을에 파종하고 이듬해 봄에도 파종하는 사례가 있는데, 이는 가을 파종시기의 잦은 강우와 낮은 월동률로 인해 생육불량이 발생되기 때문이며

파종시기에 따른 생육 패턴 및 수량에 대한 비교가 필요하다.

최근 인력을 대신하여 원거리에서 작업이 가능한 무인기의 원격탐사기술의 발달과, 이를 이용한 정밀농업연구가 활발히 추진되고 있으며, 식량작물뿐만 아니라 조사료 생산분야에 적용하기 위한 기술개발이 이루어지고 있다(NIPA, 2017; Shin et al., 2020). 무인기에 장착된 광학센서의 영상데이터를 작물의 초장, 토지 피복량, 작황 추정 등에 도입하는 연구가 수행되었으며, 원격탐사를 통한 작물의 작황정보의 공간적 변이를 조사하기 위해서는 작물에 최적화된 식생지수를 이용할 필요가 있다(Lee et al., 2004; Xiang and Tian, 2011; Torres-Sanchez et al., 2014). 대다수의 관련 연구가 벼 등의 식량작물 위주로 한 최적 식생지수 선별과 생산량 예측기술 개발목적으로 수행되었고, 사료작물분야에서의 연구는 활발히 이루어지고 있지 않다(Na et al, 2019; Shin

\*Corresponding author: Yang Seung Hak, National Institute of Animal Science, RDA, Cheonan, 31000, Korea  
Tel: +82-41-580-6768, E-mail: y64h@korea.kr

et al., 2020).

그러므로, 본 연구는 무인기를 이용하여 이탈리아 라이그라스의 시계열별 분광데이터를 수집하고 파종계절별 식생지수 및 생산성 변화를 비교하고자 수행되었다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 연구지역 및 재배환경 측정

연구대상 지역은 국립축산과학원 축산자원개발부의 시험포장 (36°56'11.70"N, 127°6'27.12"E, 약 2ha)을 선정하였으며, 봄파종과 가을파종구역으로 구분하여 공시하였다(Fig. 1). 표준재배법에 준해 이탈리아 라이그라스(코원어리)를 가을(2020년 9월 27일)에 기계로 파종하였으며, 가을파종구역내 구획을 다시 조성한 후 익년 봄(2021년 2월 26일)에 파종을 실시하였다. 재배지역의 재배환경을 측정하기 위해 데이터수집 로거(H21-USB, HOBO, USA)를 이용하여 지중온도 및 지중수분 등 환경데이터를 수집하였다.

### 2. 생육조사

생육조사는 2021년 4월 9일 ~ 5월 26일까지 초장길이와 건물수량 조사로 나뉘 5회 실시하였다. 4월 2일 ~ 5월 19일 기간 중 드론관측 및 생육조사지점을 선정한 후 200 cm × 200 cm 방형구 형태로 조성하여 이용하였다(Fig. 1). 건물수량 측정을 위해 채취된 시료는 80°C에서 48시간 건조한 후 건물수량을 조사하였다.

### 3. 초분광 무인기 영상 취득

외부광의 영향을 최소화한 초분광데이터를 취득하기 위해 초분광센서(Micro-E Series, Headwall, Belgium)를 장착한 회전의 드론(Matrice 600 pro, DJI, China)을 이용하여 10 ~ 14시 맑은 날에 수행하였다. 대기보정을 위한 촬영범위 내 각각 11, 30 및 56%의 균일한 반사율을 가지는 타프(Tarp)를 설치하였으며 GPS 보정을 위해 GPS 측량기(Trimble R4s, Texas, USA)를 이용하였다. 경로비행 조건을 고도 40 m, 좌우중첩도가 75% 이상이 되도록 세팅 후 초분광장치 촬영비행에 적용하여 영상을 취득하였다. 촬영된 영상은 상용 소프트웨어(ENVI 5.6, Harris Geospatial Solution, USA 등)로 관심영역 추출 및 기하보정을 수행하였으며 현장에서 측정된 타프 반사값을 이용하여 경험적 선형보정기법을 적용하였다.

### 4. 식생지수 산정 및 통계분석

본 연구는 ENVI 5.6으로 조사지점의 밴드별 식생지수 맵을 작성하여 식생의 특성을 반영할 수 있도록 하였으며 산정식은 Table 1과 같다. 본 연구는 식생의 바이오매스 추정 및 시계열적 분석과 관련되어 가장 광범위하게 사용되는 정규화식생지수인 Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) 와 Normalized Difference Red Edge Index (NDRE), Enhanced Vegetation Index (EVI)를 활용하였으며 식물의 색소와 관련된 Chlorophyll Vegetation Index (CVI), Carotenoid Reflectance Index 1 (CRI1)과 Red Green Ratio Index (RGRI)를 사용하였다. 본 연구의 통계처리는 SAS program (ver. 9.4, SAS Institute, Cary, NC, USA)을 이용하여 파종시기에 대한 t-검정( $p < 0.05$ )과 식생지

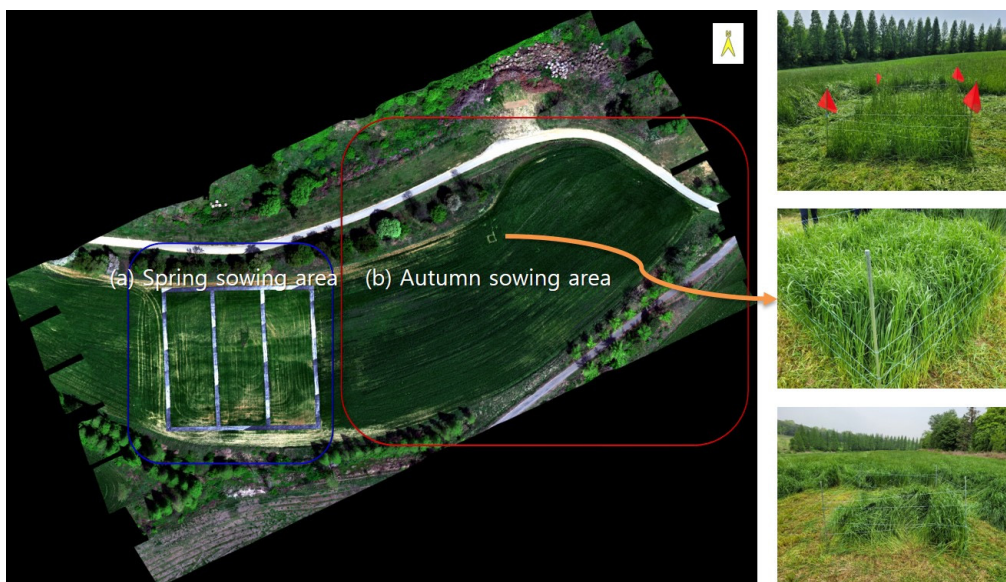


Fig. 1. Location map of the IRG test field and the sampling sites. (a) Spring sowing area, (b) Autumn sowing area.

Table 1. Vegetation indices used in this study

Vegetation Indices	Equation	References
Normalized Difference Vegetation Index	$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$	Rouse et al., 1973
Normalized Difference Red Edge Index	$NDRE = (NIR - RE) / (NIR + RE)$	Gitelson and Merzlyak, 1994
Chlorophyll Vegetation Index	$CVI = (NIR / G) \times (R / G)$	Vincini et al., 2008
Enhanced Vegetation Index	$EVI = 2.5 \times (NIR - R) / (NIR + 6R - 7.5B + 1)$	Huete et al., 2002
Carotenoid Reflectance Index 1	$CRI1 = (1 / \rho_{510}) - (1 / \rho_{550})$	Gitelson et al., 2002
Red Green Ratio Index	$RGRI = \sum_{i=600}^{699} \rho_i / \sum_{j=500}^{599} \rho_j$	Gamon and Surfus, 1999

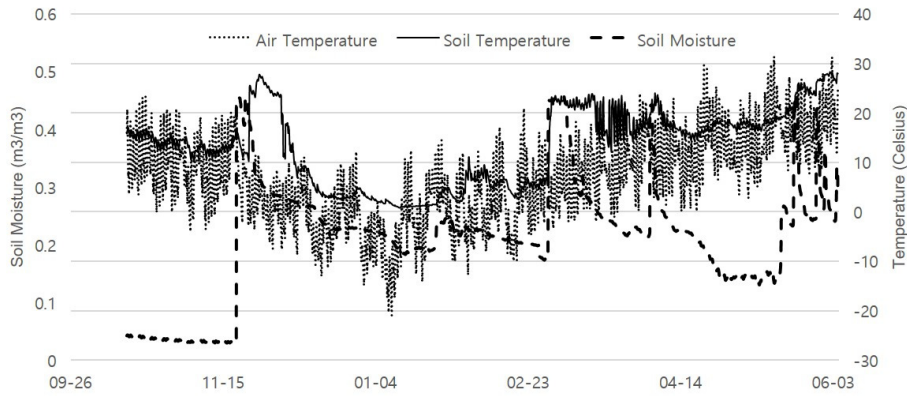


Fig. 2. The environmental patterns of cultivation field during cultivation periods.

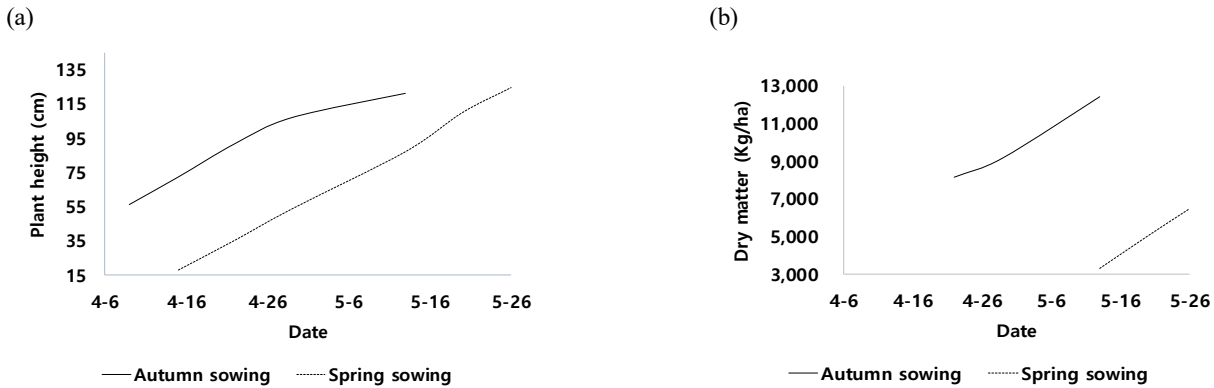


Fig. 3. Comparison of growth pattern of IRG by sowing season. (a) Plant height, (b) Dry matter yield.

수, 재배일수, 건물수량에 대한 다중회귀분석을 실시한 후 상관성을 분석하였다.

왕성한 시기인 4월 중 매우 낮은 경향을 보였으나 이로 인한 생육불량 등이 관찰되지 않았다(Fig. 2).

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 재배환경 측정

가을파종 이후 1월 최저기온이 -10도 이하인 사례가 발생되었으나 지중온도는 영상을 유지하였으며, 지중수분은 생육이 가장

#### 2. 생육조사

파종계절에 따른 초장 길이 조사결과, 수확일 기준으로 가을파종구는  $121.16 \pm 2.43$  cm, 봄파종구는  $124.93 \pm 1.69$  cm 이었으며, 유의적인 차이는 없었다( $p > 0.05$ ). 건물수량에 있어서는 가을파종구가  $12463.21 \pm 62.80$  kg, 봄파종구가  $6501.76 \pm 73.15$  kg 이었다(Fig. 3).

3. 식생지수 산정

파종시기별 식생지수 평균값의 시계열 변화를 Fig. 4에 표시하였는데, 가을파종구의 NDVI는 최초 초분광데이터를 취득한 시점부터 최고치인 1에 근접했으며 지속적으로 감소하는 경향을 보였다. 봄파종구에서는 0.6부터 관측되어 높은 상승유형을 나타냈는데 4월 28일 측정일부터 상승이 둔감되었다. NDVI는 계절적 변화 등의 식생상태를 파악하는 데에 활용되어 왔으나, 왕성한 작물 캐노피에는 최고치에 근접하는 포화현상(saturation effect)이 발생될 수 있어 생육후기에는 분별력이 떨어지는 것으로 보고되

고 있다(Gu et al., 2013). 본 연구에서도 생육기간 중 유사한 결과가 도출되었으며, 4월에 성장이 왕성한 이탈리아인 라이그라스 생육차이를 구분하기 어려웠다. NDRE와 EVI는 NDVI의 단점을 보완하기 위해 개발된 지수로서 EVI는 청색파장대를 이용하여 토양배경 영향을 보정하고 대기영향을 줄이는 것으로 바이오매스가 왕성한 지역 모니터링을 위해 개발되었는데, 재배기간동안 가을파종구와 봄파종구간의 차이를 나타냈으며 캐노피 량의 차이에서 기인되는 것으로 사료된다(Huete et al., 2002). NDRE는 지난 연구결과에서 4월 중순 이후 최대 0.6에 근접하였으며 이번 연구

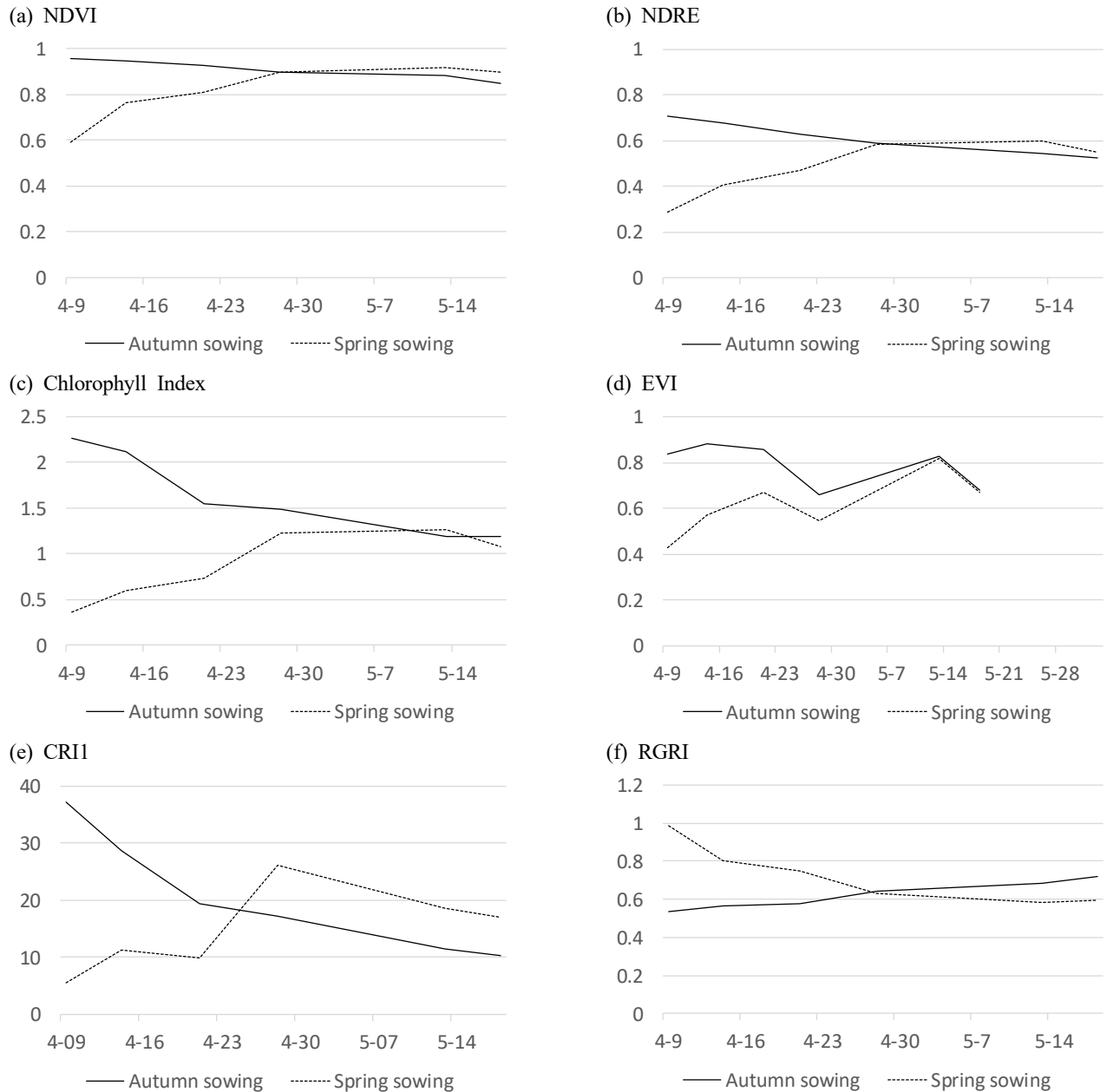


Fig. 4. Comparison of vegetation index patterns of IRG by sowing season.

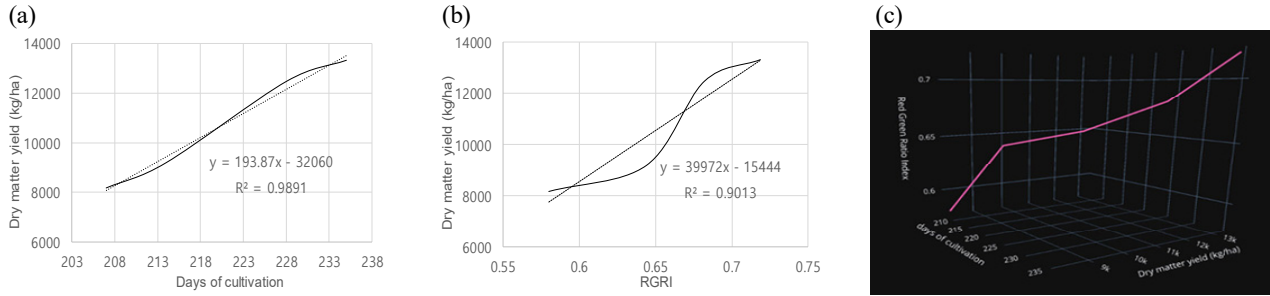


Fig. 5. Regression analysis for dry matter yield of IRG sown in Autumn. (a) dry matter yield and days of cultivation, (b) dry matter yield and RGRI, (c) time series correlation between dry matter yield and RGRI.

에서도 동일한 결과를 나타냈다(Shin et al., 2020). 한편, 어리거나 약해진 식물은 카로티노이드 농도가 높는데 과도한 빛의 영향으로부터 식물을 보호할 때 나타나는 것으로 보고되며 CRII은 클로로필에 상대적인 카로티노이드농도를 의미하는 데 가을파종구에서 지속적인 감소가 나타났다(Gitelson et al., 2002).

안토시아닌 함량과 관련된 RGRI는 생육초기 잎의 두께와 수가 증가될수록 감소되는 것으로 보고되고 있는데, 상대적인 클로로필농도를 나타내는 NDVI가 증가했을 때 RGRI가 감소되는 결과를 나타냈다(Gamon and Surfus, 1999). 본 연구에서도 초기 잎의 발달이 왕성하게 진행되는 봄파종구뿐만 아니라 가을파종구에서도 NDVI와 RGRI간에 음의 상관관계를 보였으며 초기 생육이 활발한 봄파종구와 재생에 의한 성장과 관련이 있는 가을파종구의 생육특성과 관련이 있을 것으로 사료된다. 또한 식생지수의 전반적인 연구결과에서 4월 28일에 패턴의 변화가 나타났는데, 출수시점과 중첩이 되어 있었으며, 이에 대한 연구는 추가적으로 이루어져야 할 것으로 사료된다.

#### 4. 식생지수 RGRI와 건물수량의 상관분석

주로 가을에 파종하여 5월 중에 수확하는 이탈리아 라이그라스의 재배법에 준한 건물수량 증가의 검토가 필요하였다. 가을파종구의 재배일수, 건물수량, 식생지수 RGRI 간의 상관성을 분석한 결과는 Fig. 5와 같다. 건물수량과 재배일수, 건물수량과 RGRI간의 모든 상관분석에서 결정계수 0.7 이상의 높은 상관성을 보였다. 생육이 활발한 생육기에 포화현상을 나타내는 NDVI와 달리, 지속적으로 증가하는 RGRI가 가을파종구의 건물수량 증가와의 관련성을 나타내는 데에 적합할 것으로 사료된다.

### IV. 요약

본 연구는 드론의 초분광장치를 이용하여 이탈리아 라이그라스 생육기간 중의 파종계절에 따른 식생지수 변화 및 생산성을

조사하였다. 수량성을 조사한 결과, 봄파종구의 건물수량이 가을파종구의 약 52%였으며 초장은 유의적으로 차이가 없었다. 식생지수를 산정하여 연속적인 패턴을 분석한 결과, 가을파종구의 대부분 식생지수가 시간이 지날수록 낮아지며, 봄파종구는 높아지는 유형을 보였으나 RGRI는 반대의 유형을 나타냈다. 재배기간에 따른 가을파종구의 건물수량과 RGRI의 상관성이 높았다.

### V. 사사

본 연구는 농촌진흥청 공동연구개발사업(과제명: 드론 이용 동계사료작물의 정밀재배 및 초지조성 관리기술 개발, 과제번호: PJ014123012021)의 지원에 의해 수행되었습니다.

### VI. REFERENCES

Gamon, J. and Surfus, J. 1999. Assessing leaf pigment content and activity with a reflectometer. *New Phytologist*. 143:105-117. doi:10.1007/s11119-008-9075-z

Gitelson, A. and Merzlyak, M. 1994. Quantitative estimation of chlorophyll-a using reflectance spectra: Experiments with autumn chestnut and maple leaves. *Journal of Photochemistry and Photobiology*. 13:247-252. doi:10.1016/1011-1344(93)06963-4

Gitelson, A., Zur, Y., Chivkunova, O. and Merzlyak, M. 2002. Assessing carotenoid content in plant leaves with reflectance spectroscopy. *Photochemistry and Photobiology*. 75:272-281.

Gu, Y., Wylie, B., Howard, D., Phyyal, K. and Ji, L. 2013. NDVI saturation adjustment: A new approach for improving cropland performance estimates in the Greater Platte River Basin, USA. *Ecological Indicators*. 30:1-6.

Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E., Gao, X. and Ferreira, L. 2002. Overview of the radiometric and biophysical performance

## Vegetation Indices of IRG by Sowing Seasons

- of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*. 83:195-213.
- Korea Rural Economic Institute. 2014. Statistical survey technique development and application method. pp. 1-65.
- Lee, B.O., Yoo, J.W., Yang, J.H. and Jin, C.Z. 2016. Strategies for the value innovation of agriculture in Korea. *Journal of Agricultural, Life and Environment Sciences*. 28:43-51.
- Lee, C., Umeda, M., Jung, I., Sung, J., Kim, S., Park, W. and Lee, B. 2004. Spatial variability analysis of paddy rice yield in field. *Journal of Biosystems Engineering*. 29:267-274.
- Na, S.I., Park, C.W., So, K.H., Ahn, H.Y. and Lee, K.D. 2019. Photochemical Reflectance Index (PRI) mapping using drone-based hyperspectral image for evaluation of crop stress and its application to multispectral imagery. *Korean Journal of Remote Sensing*. 35:637-647. doi:10.7780/kjrs.2019.35.5.1.2
- NIPA. 2017. ICT convergence in-depth report. pp. 1-5.
- Rouse, J., Haas, R., Schell, J. and Deering, D. 1973. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. Third ERTS Symposium. NASA. pp. 309-317.
- Shin, J.Y., Lee, J.M., Yang, S.H., Lim, K.J. and Lee, H.J. 2020. Selection of optimal vegetation indices for predicting winter crop dry matter based on unmanned aerial vehicle. *Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science*. 40:196-202. doi:10.5333/KGFS.2020.40.4.196
- Torres-Sanchez, J., Pena, J.M., De Castro, A.I. and Lopez-Granados, F. 2014. Multi-temporal mapping of the vegetation fraction in early season wheat fields using images from UAV. *Computers and Electronics in Agriculture*. 103:104-113.
- Vincini, M., Frazzi, E. and Alessio, P. 2008. A broad-band leaf chlorophyll vegetation index at the canopy scale. *Precision Agriculture*. 9:303-319.
- Xiang, H. and Tian, L. 2011. Development of a low-cost agricultural remote sensing system based on an autonomous unmanned aerial vehicle (UAV). *Biosystems Engineering*. 108(2):174-190.
- (Received : June 21, 2023 | Revised : June 27, 2023 | Accepted : June 27, 2023)